



دانشگاه علوم پزشکی

و خدمات بهداشتی درمانی کرمان

دانشکده دندانپزشکی

پایان نامه جهت اخذ درجه دکترای تخصصی

عنوان

بررسی خواص مکانیکی نانو کامپوزیت سیلیکا ایزوژل / پلی متیل متاکریلات به عنوان ماده اولیه

در ساخت اوردنچر

توسط

دکتر سعیده صادقی

استاد راهنما

جناب آقای دکتر سینا صفری

سال تحصیلی

شماره پایان نامه

(بهمن ۱۳۹۹)



**KERMAN UNIVERSITY
OF MEDICAL SCIENCES**

Faculty of Medicine

In Partial Fulfillement of the Requirements for the Degree of PhD

Title

**Mechanical Evaluation of Silica Aerogel/ Polymethyl Methacrylate
Nanocomposite as Overdenture Base Material**

By

Saideh Sadeghi

Supervisor

Sina Safari

Thesis No ()

Date (Jan, 2020)

چکیده

مقدمه و اهداف:

تحقیق حاضر با هدف بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی اوردنچر های دندان پل متیل متاکریلات با استفاده از فیلر سیلیکا ایزوژل سنتز شده نانو متخلخل صورت گرفته است. در این پژوهش، اثر تخلخل بر میزان تغییر خواص مکانیکی کامپوزیت های ساخته شده شامل مقاومت به کشش، خمش و ضربه بر پایه استفاده از دو نوع ماده اولیه آلی و معدنی جهت سنتز سیلیکا ایزوژل مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش ها:

پودر سیلیکا ایزوژل سنتز شده با دو پیش ماده آلی و معدنی را تحت مقادیر مختلف وزنی (۲/۵، ۵/۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد وزنی) به مخلوط پودر و مایع پلی متیل متاکریلات اضافه می کنیم. سپس مخلوط نهایی تهیه شده را درون مفل های از قبل ساخته شده قرار داده و پخت انجام می شود. در پژوهش حاضر ۳ دای فلزی بر اساس استاندارد های ISO-178، ISO-527 و ISO-180 به ترتیب جهت انجام آزمون های خمش، تست کشش و مقاومت در برابر ضربه تهیه و برای ساخت نمونه های کامپوزیتی مورد استفاده قرار گرفت و خواص مکانیکی نانو کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از آنالیز ANOVA نسبت به نمونه ساخته شده بر پایه فیلر تجاری Triplex Hot مقایسه شد.

یافته ها:

آنالیز حاصل از تست های مکانیکی نشان داد که ارتباط معنی داری بین درصد وزنی استفاده شده سیلیکا ایزوژل و خواص مکانیکی نانو کامپوزیت های نهایی وجود دارد. ارتباط کامپوزیت های ساخته شده حاوی ۷/۵ درصد وزنی سیلیکا ایزوژل با خواص مکانیکی معنی دار بوده ($p < 0.05$) و خواص مکانیکی نانو کامپوزیت های ساخته شده با سیلیکا ایزوژل پایه آلی در ۱۰ درصد وزنی معنی دار نمی باشد.

بحث و نتیجه گیری:

نتایج تجربی نشان داد استفاده از تقویت کننده نانو متخلخل سیلیکا ایزوژل می تواند یک ماده موثر به عنوان فیلر مورد استفاده در ساخت اوردنچر باشد. بطور کلی خواص مکانیکی کامپوزیت های تقویت شده با سیلیکا ایزوژل سنتز شده بیشتر از کامپوزیت ساخته شده تجاری می باشد. استفاده از سیلیکای نانو متخلخل با اندازه تخلخل ریز تر اثرات بیشتری در بهبود خواص مکانیکی کامپوزیت های ساخته شده دارد.

کلمات کلیدی: دنچر، نانو کامپوزیت، پلی متیل متاکریلات، سیلیکا ایزوژل، مواد دندانپزشکی.

ABSTRACT

Background and Objectives: In the current research, the mechanical properties (in terms of tensile, bending, and impact properties) of the heat-polymerized PMMA denture base materials were investigated by incorporating the synthesized sol-gel derived nano-porous silica aerogel. The effect of porosity characteristic of was investigated by using two different organic and inorganic silica aerogel precursors.

Methods: PMMA overdenture base materials were prepared by direct mixing of liquid MMA component with the desire weight contents of the synthesized sol-gel derived silica aerogel (i. e., 0, 2.5, 5, 7.5, and 10 wt%) followed by thermal polymerization. In the current research three standard dies Iso-178, Iso-527, and Iso-180 was used inorder to investigate the mechanical properties of the fabricated composites including bending, tensile, and impact strength. The mechanical properties of the prepared nanocomposites were investigated in terms of tensile, impact and bending strength and the experimental results were also compared with those commercial Triplex Hot acrylic base overdenture resin using ANOVA alalysis.

Results: The experimental results revealed that there is a meaning full correlation between silica aerogel weight content and mechanical properties of the as-prepared silica aerogel-PMMA composites. Compared with commercial Triplex Hot base composite, fabricated PMMA base denture composites containing only 7.5 wt% of silica aerogel shows meaning full correlation ($p < 0.05$) properties and there is not a meaning full relation in the mechanical properties of the fabricated nano composites using organic base silica aerogel at 10 wt%.

Conclusions: The experimental results revealed that nano-porous silica aerogel is a promising alternative candidate to be used as an efficient filler in the fabrication of overdentures. Fabricated nano composites using silica aerogel shows higher mechanical properties, compared to fabricated commercial base composites.

Keywords: denture, nano composite, polymethyl methacrylate, silica aerogel, dental materials

فهرست مندرجات

شماره صفحه

عنوان

فصل اول

مقدمه و اهداف

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ بیان مسئله و اهمیت موضوع ۳
- ۳-۱ هدف اصلی طرح ۷
- ۴-۱ اهداف جزئی طرح ۷
- ۵-۱ اهداف کاربردی طرح ۷
- ۶-۱ فرضیات یا سؤالات پژوهش ۷

فصل دوم

- ۱-۲ مروری بر مقالات ۹
- ۲-۲ فیلرهای الیافی ۱۰
- ۱-۲-۲ الیاف شیشه ۱۰
- ۲-۳ پرکننده‌های غیرالیافی ۱۱
- ۱-۳-۲ اکسیدهای فلزی ۱۱
- ۲-۳-۲ فیلرهای معدنی ۱۴

فصل سوم

- ۱-۳ نوع پژوهش ۱۷
- ۲-۳ مواد ۱۷
- ۱-۲-۳ مواد اولیه سنتز سیلیکا ایزوژل ۱۸
- ۲-۲-۳ رزین تبادل یونی ۱۸
- ۳-۲-۳ حلال ۱۹
- ۴-۲-۳ کاتالیزور ۱۹
- ۵-۲-۳ عامل اصلاح کننده سطحی ۱۹
- ۶-۲-۳ عامل تبادل حلال ۱۹
- ۳-۳ روش تحقیق ۲۰
- ۴-۳ ساخت مواد ۲۰
- ۱-۴-۳ سنتز سیلیکای نانو متخلخل ۲۰

۳-۵	آزمون‌های مورد استفاده جهت ارزیابی ساختار مواد مورد استفاده در پژوهش	۲۴
۳-۵-۱	آزمون تخلخل سنجی جهت برآورد سطح ویژه (BET)	۲۴
۳-۵-۲	میکروسکوپ الکترونی پویشی (FE-SEM)	۲۴
۳-۵-۳	آزمون طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)	۲۴
۳-۶	ساخت نمونه‌های کامپوزیتی	۲۵
۳-۷	آزمون‌های مورد استفاده جهت ارزیابی خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های ساخته شده	۲۸
۳-۷-۱	میکروسکوپ الکترونی پویشی (FE-SEM)	۲۸
۳-۷-۲	آزمون کشش (Tensile)	۲۹
۳-۷-۳	آزمون مقاومت به خمش (Bending)	۲۹
۳-۷-۴	آزمون مقاومت در برابر شکست (Impact)	۳۰
۳-۷-۵	روش تجزیه و تحلیل آماری	۳۱

فصل چهارم: نتایج

۴-۱	مقدمه	۳۵
۴-۲	نتایج حاصل از آزمون‌های مورد استفاده جهت ارزیابی ساختار	۳۶
۴-۳	نتایج حاصل از آنالیزهای مربوط به فیلرهای مورد استفاده در پژوهش حاضر (سیلیکا ایروژل پایه آلی و معدنی، تقویت کننده تجاری Triplex Hot)	۳۶
۴-۳-۱	آنالیز میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) و طیف سنجی EDAX	۳۶
۴-۳-۲	طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)	۴۱
۴-۳-۳	آزمون تخلخل سنجی جذب و دفع نیتروژن (آنالیزهای BET و BJH)	۴۳
۴-۴	نتایج حاصل از آنالیزهای مربوط به بررسی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های ساخته شده	۴۷
۴-۴-۱	مورفولوژی شکست نمونه‌های کامپوزیتی	۴۷
۴-۴-۲	خواص مقاومت به خمش (آنالیز Bending)	۵۱
۴-۴-۳	خواص مقاومت در برابر کشش (آنالیز Tensile)	۵۱
۴-۴-۴	مقاومت در برابر ضربه (آنالیز Impact)	۵۲
۴-۴-۵	خواص مکانیکی حاصل از آنالیزهای مقاومت در برابر کشش، خمش و ضربه	
۴-۵	در نمونه‌های شاهد	۵۳
۴-۶	نتایج حاصل از آنالیز Anova	۵۴

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱	بحث	۵۶
۵-۲	نتیجه‌گیری	۶۹
۵-۳	پیشنهادهات	۷۰

فهرست جداول

شماره صفحه

عنوان

۱۸.....	جدول ۱-۳ مشخصات فیزیکی رزین تبادل یونی Amberlite IR120 H
۲۰.....	جدول ۲-۳ جزء وزنی مواد بکار برده شده در ساخت نانو کامپوزیت های تقویت شده پلی متیل متاکریلات.....
۲۶.....	جدول ۳-۳ جزء وزنی مواد بکار برده شده در ساخت نانو کامپوزیت های تقویت شده پلی متیل متاکریلات.....
۴۷.....	جدول ۱-۴ در جدول ۱-۴ خلاصه نتایج حاصل از آزمون تخلخل سنجی نیتروژن از فیلر های مورد استفاده در این پژوهش.....
۴۷.....	جدول ۲-۴ ویژگی های تخلخل تقویت کننده های مورد استفاده در پژوهش حاضر.....
۵۳.....	جدول ۳-۴ خواص مکانیکی حاصل از نمونه های شاهد.....
۵۴.....	جدول ۴-۴ نتایج آماری حاصل از آنالیز ANOVA نسبت به بررسی بهبود خواص مکانیکی نانوکامپوزیت های تقویت شده پلی متیل متاکریلات با تقویت کننده های سیلیکا ابروژل پایه آلی و معدنی.....

فهرست تصاویر

عنوان	شماره صفحه
شکل ۱-۲ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح شکست پلی متیل متاکریلات خالص (سمت چپ) و نانو کامپوزیت سیلیکا/ پلی متیل متاکریلات (سمت راست).....	۱۵
شکل ۱-۳ واکنش ژل شدن سیلیسیک اسید تحت کاتالیزور بازی و تشکیل ژل تر سیلیکا (۵۳).....	۲۱
شکل ۲-۳ واکنش اصلاح سطحی TMCS با گروه های هیدروکسیل موجود در سطح داخلی حفرات سیلیکا ژل.....	۲۳
شکل ۳-۳ تصاویر مربوط به مفل های استفاده شده و نمونه های ساخته شده کامپوزیتی جهت انجام آزمون های مقاومت در برابر ضربه (الف)، کشش (ب) و خمش (پ).....	۲۸
شکل ۴-۳ شمای دستگاه مورد استفاده جهت انجام آزمون کشش.....	۲۹
شکل ۵-۳ شمای دستگاه مورد استفاده جهت انجام آزمون خمش.....	۳۰
شکل ۶-۳ شمای دستگاه مورد استفاده جهت انجام آزمون شکست.....	۳۱
شکل ۱-۴ نتایج حاصل از آزمون میکروسکوپ الکترونی از مورفولوژی سیلیکا ابروژل پایه آلی (بر پایه تترا اتیل اورتو سیلیکات) الف، سیلیکا ابروژل پایه معدنی (سدیم سیلیکات) ب.....	۳۷
شکل ۲-۴ نتایج حاصل از آزمون میکروسکوپ الکترونی از مورفولوژی نمونه تجاری Triplex Hot.....	۳۸
شکل ۳-۴ آنالیز حاصل از آزمون EDAX از نمونه های سیلیکا ابروژل سنتز شده.....	۳۹
شکل ۴-۴ آنالیز حاصل از آزمون EDAX از نمونه های پودری کروی شکل موجود در نمونه تجاری Triplex Hot.....	۴۰
شکل ۵-۴ آنالیز حاصل از آزمون EDAX از نمونه های الیافی موجود در نمونه تجاری Triplex Hot.....	۴۱
شکل ۶-۴ نتایج آزمون تبدیل فوریه مادون قرمز از نمونه های سیلیکا ابروژل سنتز شده.....	۴۲
شکل ۷-۴ نتایج آزمون تبدیل فوریه مادون قرمز از نمونه تجاری Triplex Hot.....	۴۲
شکل ۸-۴ هیسترسیس جذب و دفع نیتروژن از نمونه تقویت کننده تجاری Triplex Hot بر اساس تئوری BET.....	۴۳

شکل ۴-۹ توزیع اندازه حفره بدست آمده از نمونه تقویت کننده تجاری Triplex Hot بر اساس تئوری BJH..... ۴۴

شکل ۴-۱۰ شکل نمودار هیسترسیس جذب و دفع نیتروژن در نمونه های سنتز شده سیلیکا ابروژل به ترتیب با استفاده از پیش ماده های سیلیکات سدیم (معدنی) (الف) و تترا اتیل اورتو سیلیکات (آلی) (ب)..... ۴۵

شکل ۴-۱۱ نمودار توزیع اندازه حفرات در نمونه های سنتز شده سیلیکا ابروژل به ترتیب با استفاده از پیش ماده های سیلیکات سدیم (الف) و تترا اتیل اورتو سیلیکات (ب)..... ۴۶

شکل ۴-۱۲ مورفولوژی شکست مربوط به نمونه پلی متیل متاکریلات بدون تقویت کننده (الف) و کامپوزیت پلی متیل متاکریلات ساخته شده با تقویت کننده Triplex Hot حاوی ۱۰ درصد وزنی از تقویت کننده (ب)..... ۴۸

شکل ۴-۱۳ مورفولوژی شکست مربوط به کامپوزیت های تقویت شده با سیلیکا ابروژل پایه آلی حاوی به ترتیب مقادیر ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد وزنی از تقویت کننده (الف-ت)..... ۴۹

شکل ۴-۱۴ مورفولوژی شکست مربوط به کامپوزیت های تقویت شده با سیلیکا ابروژل پایه معدنی حاوی به ترتیب مقادیر ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰٪ وزنی از فیلر (الف-ت)..... ۵۰

شکل ۴-۱۵ خواص مقاومت به خمش در کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از سیلیکا ابروژل پایه آلی (بر پایه تترا اتیل اورتو سیلیکات) (الف) و سیلیکا ابروژل پایه معدنی (سیلیکات سدیم) (ب) به عنوان تابعی از درصد وزنی تقویت کننده استفاده شده در ساخت کامپوزیت ۵۱

شکل ۴-۱۶ خواص مقاومت در برابر کشش در کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از سیلیکا ابروژل پایه آلی (بر پایه تترا اتیل اورتو سیلیکات) (الف) و کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از سیلیکا ابروژل پایه معدنی (سیلیکات سدیم) (ب) به عنوان تابعی از درصد وزنی تقویت کننده های مورد استفاده در ساخت کامپوزیت ۵۲

شکل ۴-۱۷ خواص مقاومت در برابر ضربه در کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از سیلیکا ابروژل پایه آلی (بر پایه تترا اتیل اورتو سیلیکات) (الف) و کامپوزیت های ساخته شده با استفاده از سیلیکا ابروژل پایه معدنی (سیلیکات سدیم) (ب) به عنوان تابعی از درصد وزنی تقویت کننده های مورد استفاده در ساخت کامپوزیت ۵۳

1. Salimian S, Malfait WJ, Zadhoush A, Talebi Z, Naeimirad M. Fabrication and evaluation of silica aerogel-epoxy nanocomposites: Fracture and toughening mechanisms. *Theor Appl Fract Mech*. 2018 Oct 1;97:156–64.
2. Sabri F, Boughter Jr JD, Gerth D, Skalli O, Phung T-CN, Tamula G-RM, et al. Histological Evaluation of the Biocompatibility of Polyurea Crosslinked Silica Aerogel Implants in a Rat Model: A Pilot Study. Hong J, editor. *PLoS One* [Internet]. 2012 Dec 12 [cited 2020 Dec 5];7(12):e50686. Available from: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0050686>
3. Gad M, Fouda S, Al-Harbi F, Năpănkangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: a review of fiber, filler, and nanofiller addition. *Int J Nanomedicine* [Internet]. 2017 May 17 [cited 2020 Aug 8];Volume 12:3801–12. Available from: <https://www.dovepress.com/pmma-denture-base-material-enhancement-a-review-of-fiber-filler-and-na-peer-reviewed-article-IJN>
4. Reinforcement of PMMA Denture Base Material with a Mixture of ZrO₂ Nanoparticles and Glass Fibers [Internet]. [cited 2020 Aug 8]. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ijdb/2019/2489393/>
5. Naji SA, Kashi T sadat J, Behroozibakhsh M, Hajizamani H, Habibzadeh S. Recent Advances and Future Perspectives for Reinforcement of Poly(methyl methacrylate) Denture Base Materials: A Literature Review. *J Dent Biomater* [Internet]. 2018 Mar 4 [cited 2020 Aug 8];5(1):490–502. Available from: <http://jdb.sums.ac.ir/index.php/jdb/article/view/210>
6. Carlsson GE, Omar R. The future of complete dentures in oral rehabilitation. A critical review [Internet]. Vol. 37, *Journal of Oral Rehabilitation*. J Oral Rehabil; 2010 [cited 2020 Aug 8]. p. 143–56. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20002536/>
7. Reinforcement of PMMA Denture Base Resins: From Macro to Nano Scale – International Journal of MEDICAL, DENTISTRY [Internet]. [cited 2020 Aug 8]. Available from: <https://www.ijmd.ro/2019/reinforcement-of-pmma-denture-base-resins-from-macro-to-nano-scale/>
8. Alla RK, Sajjan S, Alluri VR, Ginjupalli K, Upadhy N. Influence of Fiber Reinforcement on the Properties of Denture Base Resins. *J Biomater Nanobiotechnol* [Internet]. 2013 Jan 17 [cited 2020 Aug 8];04(01):91–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/126126>
9. Tacir IH, Kama JD, Zortuk M, Eskimez S. Flexural properties of glass fibre reinforced acrylic resin polymers. *Aust Dent J* [Internet]. 2006 Mar [cited 2020 Aug 8];51(1):52–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16669478/>
10. Gad MM, Fouda SM, Al-Harbi FA, Năpănkangas R, Raustia A. PMMA denture base material enhancement: A review of fiber, filler, and nanofiller addition [Internet]. Vol. 12, *International Journal of Nanomedicine*. Dove Medical Press Ltd.; 2017 [cited 2020 Aug 8]. p. 3801–12. Available from: [/pmc/articles/PMC5440038/?report=abstract](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5440038/?report=abstract)
11. Moreno-Maldonado V, Acosta-Torres LS, Barceló-Santana FH, Vanegas-Lancón RD, Plata-Rodríguez ME, Castaño VM. Fiber-reinforced nanopigmented poly(methyl methacrylate) as improved denture base. *J Appl Polym Sci* [Internet]. 2012 Oct 5 [cited 2020 Aug 8];126(1):289–96. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.36913>
12. Singh K, Sharma S, Negi P, Kumar M, Rajpurohit D, Khobre P. Comparative Evaluation

- of Flexural Strength of Heat Polymerised Denture Base Resins after Reinforcement with Glass Fibres and Nylon Fibres: An In vitro Study. *Adv Hum Biol* [Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 8];6(2):91. Available from: <http://www.aihbonline.com/text.asp?2016/6/2/91/190315>
13. Agha H, Flinton R, Vaidyanathan T. Optimization of Fracture Resistance and Stiffness of Heat-Polymerized High Impact Acrylic Resin with Localized E-Glass FiBER FORCE® Reinforcement at Different Stress Points. *J Prosthodont* [Internet]. 2016 Dec 1 [cited 2020 Aug 8];25(8):647–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26990705/>
 14. Dalkiz M, Arslan D, Tuncdemir AR, Bilgin MS, Aykul H. Effect of different palatal vault shapes on the dimensional stability of glass fiber-reinforced heat-polymerized acrylic resin denture base material. *Eur J,Dent*[Internet]. 2012Jan[cited2020Aug8]; 6(1):708.Availablefrom:<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22229010>
 15. Asar NV, Albayrak H, Korkmaz T, Turkeyilmaz I. Influence of various metal oxides on mechanical and physical properties of heat-cured polymethyl methacrylate denture base resins. *J Adv Prosthodont* [Internet].2013[cited2020Aug9]; 5(3):2417.Availablefrom: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24049564/>
 16. Sehajpal SB, Sood VK. Effect of metal fillers on some physical properties of acrylic resin. *J Prosthet Dent* [Internet]. 1989 [cited 2020 Aug 9];61(6):746–51. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2724170/>
 17. Safi IN. Evaluation the Effect of Nano - Fillers (TiO₂ , AL₂O₃ , SiO₂) Addition on Glass Transition Temperature , E - Moudulus and Coefficient of Thermal Expansion of Acrylic Denture Base Material. *J Baghdad Coll Dent* [Internet]. 2014 Mar [cited 2020 Aug 9];26(1):37–41. Available from: platform.almanhal.com/Details/Article/71100
 18. Yadav P, Mittal R, Sood VK, Garg R. Effect of Incorporation of Silane-Treated Silver and Aluminum Microparticles on Strength and Thermal Conductivity of PMMA. *J Prosthodont* [Internet]. 2012 Oct [cited 2020 Aug 9];21(7):546–51. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22672686/>
 19. Ellakwa AE, Morsy MA, El-Sheikh AM. Effect of aluminum oxide addition on the flexural strength and thermal diffusivity of heat-polymerized acrylic resin. *J Prosthodont* [Internet]. 2008 Aug [cited 2020 Aug 9];17(6):439–44. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18482365/>
 20. Bds AAN, Mohammed), Bds AM. Evaluation of thermal conductivity Restorative Dentistry Evaluation of thermal conductivity of alumina reinforced heat cure acrylic resin and some other properties [Internet]. Vol. 22, *J Bagh College Dentistry*. 2010 [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/9800/6cfbab6ac8a80509d4223fcf1f35cd138561.pdf>
 21. Vojdani M, Bagheri R, sciences AK-J of dental, 2012 undefined. Effects of aluminum oxide addition on the flexural strength, surface hardness, and roughness of heat-polymerized acrylic resin. Elsevier [Internet]. [cited 2020 Aug 9]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1991790212000608>
 22. Arora P, Singh S, Technol VA-IJBT, 2015 undefined. Effect of alumina addition on properties of polymethylmethacrylate—a comprehensive review.
 23. Arora N, Jain V, Chawla A, Dent VM-IJPR, 2011 undefined. Effect of addition of sapphire (Aluminum oxide) or silver fillers on the flexural strength, thermal diffusivity and water sorption of heat-polymerized acrylic.
 24. Chaijareenont P, Takahashi H, ... NN-D materials, 2012 undefined. Effect of different amounts of 3-methacryloxypropyltrimethoxysilane on the flexural properties and wear resistance of alumina reinforced PMMA. *jstage.jst.go.jp* [Internet]. [cited 2020 Aug 9]; Available from: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj/31/4/31_2012-056/_article/-](https://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj/31/4/31_2012-056/_article/)

- char/ja/
25. Safi IN. Evaluation the effect Evaluation the effect of nano-fillers (TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2) addition on glass transition temperature, E-Modulus and coefficient of thermal expansion of acrylic denture base material [Internet]. Vol. 26, J Bagh College Dentistry. 2014 [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://platform.almanhal.com/Files/2/71100>
 26. Abdulkareem M, Eng NH-IJERST, 2015 undefined. Evaluation the biological effect of adding Aluminum Oxide, Silver nanoparticles into microwave treated PMMA powder.
 27. Jasim B, dentistry II-J of baghdad college of, 2014 undefined. The effect of silanized alumina nano-fillers addition on some physical and mechanical properties of heat cured polymethyl methacrylate denture base material [Internet]. platform.almanhal.com. [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://platform.almanhal.com/Files/2/71128>
 28. Kul E, Aladağ Lİ, Yesildal R. Evaluation of thermal conductivity and flexural strength properties of poly(methyl methacrylate) denture base material reinforced with different fillers. J Prosthet Dent [Internet]. 2016 Nov 1 [cited 2020 Aug 9];116(5):803–10. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27189841/>
 29. Ayad N, Badawi M, Fatah A. Effect of reinforcement of high-impact acrylic resin with zirconia on some physical and mechanical properties. Rev clín pesq odontol [Internet]. 2008 Nov 29 [cited 2020 Aug 9];4(3):14551. Available from: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/oralresearch/article/view/23218>
 30. Asopa V, Suresh S, Khandelwal M, Sharma V, Asopa SS, Kaira LS. A comparative evaluation of properties of zirconia reinforced high impact acrylic resin with that of high impact acrylic resin. Saudi J Dent Res. 2015 Jul 1;6(2):146–51.
 31. Franklin P, Wood DJ, Bubb NL. Reinforcement of poly(methyl methacrylate) denture base with glass flake. Dent Mater [Internet]. 2005 Apr [cited 2020 Aug 9];21(4):365–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15766583/>
 32. Zhang X, Zhang X, Zhu B, xue CQ-S kou Q yi, 2011 undefined. Effect of nano ZrO_2 on flexural strength and surface hardness of polymethylmethacrylate. europepmc.org [Internet]. [cited 2020 Aug 9]; Available from: <https://europepmc.org/article/med/21909598>
 33. thesis IS-A master, Prosthodontics D of, College undefined, 2011 undefined. evaluation the effect of modified Nano filler addition on some properties of the heat cure acrylic risen denture base material.
 34. Gad MM, Rahoma A, Al-Thobity AM, ArRejaie AS. Influence of incorporation of ZrO_2 nanoparticles on the repair strength of polymethyl methacrylate denture bases. Int J Nanomedicine [Internet]. 2016 Oct 27 [cited 2020 Aug 9];11:5633–43. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27822041/>
 35. M G, AS A, MS A-H, A R. The Reinforcement Effect of Nano-Zirconia on the Transverse Strength of Repaired Acrylic Denture Base. Int J Dent [Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 9];2016. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27366150/>
 36. Ihab N, Hassanen K, dentistry NA-J of baghdad college of, 2012 undefined. Assessment of zirconium oxide nano-fillers incorporation and silanation on impact, tensile strength and color alteration of heat polymerized acrylic resin [Internet]. iasj.net. [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://www.iasj.net/iasj?func=article&aId=70224>
 37. Influence of different amount of silane coupling agent on the flexural strength of PMMA/nanometer ZrO_2 composites [Internet]. [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17660924/>
 38. Hameed HK, Rahman HA. The effect of The effect of addition nano particle ZrO_2 on some properties of autoclave processed heat cure acrylic denture base material [Internet]. Vol. 27, J Bagh College Dentistry. 2015 [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://platform.almanhal.com/Files/2/71226>

39. Yu W, Wang X, Tang Q, Guo M, Zhao J. Reinforcement of denture base PMMA with ZrO₂ nanotubes. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2014 Apr [cited 2020 Aug 9];32:192–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24487077/>
40. Ahmed M, El-Shennawy M, ... YA-WJ of N, 2016 undefined. Effect of titanium dioxide nano particles incorporation on mechanical and physical properties on two different types of acrylic resin denture base. *scirp. org*[Internet].[cited2020Aug9]; Available from: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=67975>
41. Harini P, Mohamed K, Padmanabhan T V. Effect of Titanium dioxide nanoparticles on the flexural strength of polymethylmethacrylate: An in vitro study. *Indian J Dent Res* [Internet]. 2014 Oct 1 [cited 2020 Aug 9];25(4):459–63. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25307909/>
42. Nejatian T, Johnson A, and RVN-A in S, 2006 undefined. Reinforcement of denture base resin. *Trans Tech Publ* [Internet]. [cited 2020 Aug 9]; Available from: <https://www.scientific.net/ast.49.124>
43. Issa Salih S, Kadhum Oleiwi J, Adnan Hamad Q. Investigation of Fatigue and Compression Strength for the PMMA Reinforced by Different System for Denture Applications Investigation of Fatigue and Compression Strength for the PMMA Reinforced by Different System for Denture. *Appl Int J Biomed Mater Res* [Internet]. 2015 [cited 2020 Aug 9];3(1):5–13. Available from: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijbmr>
44. Alnamel HA, Mudhaffer M. Silicon di oxide Nano-filler (SiO₂), Nano technology [Internet]. Vol. 26, *J Bagh College Dentistry*. 2014 [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://platform.almanhal.com/Files/2/71098>
45. Cevik P, Yildirim-Bicer AZ. The Effect of Silica and Prepolymer Nanoparticles on the Mechanical Properties of Denture Base Acrylic Resin. *J Prosthodont* [Internet]. 2018 Oct 1 [cited 2020 Aug 9];27(8):763–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27898997/>
46. Balos S, Pilic B, Markovic D, Pavlicevic J, Luzanin O. Poly(methyl-methacrylate) nanocomposites with low silica addition. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2014 [cited 2020 Aug 9];111(4):327–34. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24360017/>
47. Da Silva LH, Feitosa SA, Valera MC, De Araujo MAM, Tango RN. Effect of the addition of silanated silica on the mechanical properties of microwave heat-cured acrylic resin. *Gerodontology* [Internet]. 2012 Jun [cited 2020 Aug 9];29(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22225509/>
48. Abdallah RM. Evaluation of polymethyl methacrylate resin mechanical properties with incorporated halloysite nanotubes. *J Adv Prosthodont* [Internet]. 2016 [cited 2020 Aug 9];8(3):167–71. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27350849/>
49. Mortazavi V, Atai M, Fathi M, Keshavarzi S, Khalighinejad N, Badrian H. The effect of nanoclay filler loading on the flexural strength of fiber-reinforced composites. *Dent Res J (Isfahan)* [Internet]. 2012 May [cited 2020 Aug 9];9(3):273–80. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23087731>
50. Effect of Nanoclay on Thermal Conductivity and Flexural Strength of Polymethyl Methacrylate Acrylic Resin - PubMed [Internet]. [cited 2020 Aug 9]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27284557/>
51. Barzegar A, Ghaffari T. Nanoclay-reinforced polymethylmethacrylate and its mechanical properties. *Dent Res J (Isfahan)* [Internet]. [cited 2020 Aug 9];15(4):295–301. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30123308>
52. Barzegar A, Ghaffari T. Nanoclay-reinforced polymethylmethacrylate and its mechanical properties. *Dent Res J (Isfahan)* [Internet]. 2018 [cited 2020 Aug 9];15(4):295–301. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30123308>

53. Bangi UKH, Rao AV, Rao AP. A new route for preparation of sodium-silicate-based hydrophobic silica aerogels via ambient-pressure drying. *Sci Technol Adv Mater* [Internet]. 2008 Jul 1 [cited 2020 Nov 20];9(3):035006. Available from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1468-6996/9/3/035006>
54. Gurav JL, Jung IK, Park HH, Kang ES, Nadargi DY. Silica aerogel: Synthesis and applications. *J Nanomater*. 2010; 55. Wu SH, Lin HP. Synthesis of mesoporous silica nanoparticles. *Chem Soc Rev*. 2013;
56. Olalekan AP, Dada AO, Adesina OA. Review : Silica Aerogel as a Viable Absorbent for Oil Spill Remediation. *J Encapsulation Adsorpt Sci*. 2014;4(December):122–31.
57. Bangi UKH, Rao AV, Rao AP. A new route for preparation of sodium-silicate-based hydrophobic silica aerogels via ambient-pressure drying. *Sci Technol Adv Mater* [Internet]. 2008 Jul 1 [cited 2020 Nov 30];9(3). Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1088/1468-6996/9/3/035006>
58. Zhu L, Wang Y, Cui S, Yang F, Nie Z, Li Q, et al. Preparation of silica aerogels by ambient pressure drying without causing equipment corrosion. *Molecules* [Internet]. 2018 [cited 2020 Nov 30];23(8). Available from: [/pmc/articles/PMC6222790/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30222790/)
59. Parale VG, Lee KY, Park HH. Flexible and transparent silica aerogels: An overview. *J Korean Ceram Soc* [Internet]. 2017 May 31 [cited 2020 Aug 18];54(3):184–99. Available from: <http://www.jkcs.or.kr/journal/view.php?number=8042>
60. Mota TLR, Gomes ALM, Palhares HG, Nunes EHM, Houmard M. Influence of the synthesis parameters on the mesoporous structure and adsorption behavior of silica xerogels fabricated by sol–gel technique. *J Sol-Gel Sci Technol* [Internet]. 2019 Dec 1 [cited 2020 Aug 18];92(3):681–94. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10971-019-05131-y>
61. Seraji MM, Seifi A, Bahramian AR. Morphology and properties of silica/novolac hybrid xerogels synthesized using sol-gel polymerization at solvent vapor-saturated atmosphere. *Mater Des*. 2015 Mar 15;69:190–6.
62. Ślosarczyk A, Barełkowski M, Niemier S, Jakubowska P. Synthesis and characterisation of silica aerogel/carbon microfibers nanocomposites dried in supercritical and ambient pressure conditions. *J Sol-Gel Sci Technol* [Internet]. 2015 Oct 12 [cited 2020 Aug 18];76(1):227–32. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10971-015-3798-x>
63. Abolghasemi Mahani A, Motahari S, Mohebbi A. Sol-gel derived flexible silica aerogel as selective adsorbent for water decontamination from crude oil. *Mar Pollut Bull*. 2018 Apr 1;129(2):438–47.
64. Singho ND, Lah NAC, Johan MR, Ahmad R. FTIR studies on silver-poly(methylmethacrylate) nanocomposites via in-situ polymerization technique. *Int J Electrochem Sci*. 2012;
65. Ramesh S, Leen KH, Kumutha K, Arof AK. FTIR studies of PVC/PMMA blend based polymer electrolytes. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc*. 2007;
66. Soman V V., Kelkar DS. FTIR studies of doped PMMA - PVC blend system. In: *Macromolecular Symposia*. 2009.
67. Totu EE, Nechifor AC, Nechifor G, Aboul-Enein HY, Cristache CM. Poly(methyl methacrylate) with TiO₂ nanoparticles inclusion for stereolithographic complete denture manufacturing – the future in dental care for elderly edentulous patients? *J Dent*. 2017;
68. León A, Reuquen P, Garín C, Segura R, Vargas P, Zapata P, et al. FTIR and raman characterization of TiO₂ nanoparticles coated with polyethylene glycol as carrier for 2-methoxyestradiol. *Appl Sci*. 2017;
69. Rahimpour A, Jahanshahi M, Rajaeian B, Rahimnejad M. TiO₂ entrapped nano-

- composite PVDF/SPES membranes: Preparation, characterization, antifouling and antibacterial properties. *Desalination*. 2011;
70. Santhoshkumar T, Rahuman AA, Jayaseelan C, Rajakumar G, Marimuthu S, Kirthi AV, et al. Green synthesis of titanium dioxide nanoparticles using *Psidium guajava* extract and its antibacterial and antioxidant properties. *Asian Pac J Trop Med*. 2014;
 71. Liu J, Bai H, Wang Y, Liu Z, Zhang X, Sun DD. Self-assembling TiO_2 nanorods on large graphene oxide sheets at a two-phase interface and their anti-recombination in photocatalytic applications. *Adv Funct Mater*. 2010;
 72. Błaszczyszki T, Słosarczyk A, Morawski M. Synthesis of silica aerogel by supercritical drying method. In: *Procedia Engineering*. 2013.
 73. Sarawade PB, Kim JK, Hilonga A, Kim HT. Production of low-density sodium silicate-based hydrophobic silica aerogel beads by a novel fast gelation process and ambient pressure drying process. *Solid State Sci*. 2010 May 1;12(5):911–8.
 74. Iswar S, Malfait WJ, Balog S, Winnefeld F, Lattuada M, Koebel MM. Effect of aging on silica aerogel properties. *Microporous Mesoporous Mater*. 2017 Mar 15;241:293–302.
 75. Abdullah H, Khan MR, Pudukudy M, Yaakob Z, Ismail NA. $\text{CeO}_2\text{-TiO}_2$ as a visible light active catalyst for the photoreduction of CO_2 to methanol. *J Rare Earths*. 2015;
 76. Kim TH, Rodríguez-González V, Gyawali G, Cho SH, Sekino T, Lee SW. Synthesis of solar light responsive Fe, N co-doped TiO_2 photocatalyst by sonochemical method. In: *Catalysis Today*. 2013.
 77. Abbas N, Shao GN, Haider MS, Imran SM, Park SS, Kim HT. Sol–gel synthesis of $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ systems: Effects of Fe_2O_3 content and their photocatalytic properties. *J Ind Eng Chem*. 2016;
 78. Al-Hartomy OA, Al-Solamy F, Al-Ghamdi A, Dishovsky N, Ivanov M, Mihaylov M, et al. Influence of carbon black structure and specific surface area on the mechanical and dielectric properties of filled rubber composites. *Int J Polym Sci*. 2011;2011.
 79. Mittal G, Rhee KY, Park SJ, Hui D. Generation of the pores on graphene surface and their reinforcement effects on the thermal and mechanical properties of chitosan-based composites. *Compos Part B Eng*. 2017 Apr 1;114:348–55.
 80. Jancar J, Zarybnicka K, Zidek J, Kucera F. Effect of porosity gradient on mechanical properties of cellular nano-composites. *Polymers (Basel)* [Internet]. 2020 Mar 1 [cited 2020 Dec 1];12(3). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32204365/>
 81. Zandinejad AA, Atai M, Pahlevan A. The effect of ceramic and porous fillers on the mechanical properties of experimental dental composites. *Dent Mater*. 2006 Apr 1;22(4):382–7.
 82. Rashahmadi S, Hasanzadeh R, Mosalman S. Improving the Mechanical Properties of Poly Methyl Methacrylate Nanocomposites for Dentistry Applications Reinforced with Different Nanoparticles. *Polym - Plast Technol Eng*. 2017 Nov 2;56(16):1730–40.
 83. Karci M, Demir N, Yazman S. Evaluation of Flexural Strength of Different Denture Base Materials Reinforced with Different Nanoparticles. *J Prosthodont*. 2019;
 84. Zidan S, Silikas N, Alhotan A, Haider J, Yates J. Investigating the mechanical properties of ZrO_2 -impregnated PMMA nanocomposite for denture-based applications. *Materials (Basel)*. 2019;12(8):1–14.
 85. Ahmed Omran Alhareb, Zainal Arifin Ahmad. Effect of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ reinforcement on the mechanical properties of PMMA denture base. *J Reinf Plast Compos* [Internet]. 2011 Jan 7 [cited 2020 Nov 3];30(1):86–93. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0731684410379511>
 86. Kundie F, Husna Azhari C, Ahmad ZA. Effect of nano-and micro-alumina fillers on some properties of poly(methyl methacrylate) denture base composites. *J Serb Chem*

- Soc [Internet]. 2018 Feb 9 [cited 2020 Dec 2];83(1):75–91. Available from: <https://doi.org/10.2298/JSC170118056K>
87. Gad MM, Abualsaud R, Rahoma A, Al-Thobity AM, Al-Abidi KS, Akhtar S. Effect of zirconium oxide nanoparticles addition on the optical and tensile properties of polymethyl methacrylate denture base material. *Int J Nanomedicine* [Internet]. 2018 Jan 9 [cited 2020 Dec 3];13:283–92. Available from: [/pmc/articles/PMC5768423/?report=abstract](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30000000/)
 88. Rashahmadi S, Hasanzadeh R, Mosalman S. Improving the Mechanical Properties of Poly Methyl Methacrylate Nanocomposites for Dentistry Applications Reinforced with Different Nanoparticles. *Polym Plast Technol Eng* [Internet]. 2017 Nov 2 [cited 2020 Dec 2];56(16):1730–40. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03602559.2017.1289402>
 89. Gad M, Rahoma A, Al-Thobity AM, ArRejaie A. Influence of incorporation of ZrO₂ nanoparticles on the repair strength of polymethyl methacrylate denture bases. *Int J Nanomedicine* [Internet]. 2016 Oct 27 [cited 2020 Nov 3];Volume 11(5):563343. Available from: <https://www.dovepress.com/influence-of-incorporation-of-zro2-nanoparticles--on-the-repair-streng-peer-reviewed-article-IJN>
 90. Rashahmadi S, Hasanzadeh R, Mosalman S. Improving the Mechanical Properties of Poly Methyl Methacrylate Nanocomposites for Dentistry Applications Reinforced with Different Nanoparticles. *Polym - Plast Technol Eng* [Internet]. 2017 Nov 2 [cited 2020 Dec 2];56(16):1730–40. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03602559.2017.1289402>



دانشگاه علوم پزشکی کرمان
دانشکده دندانپزشکی

« صور تجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی »

با تاییدات خداوند متعال جلسه دفاع از پایان نامه خاتم سعیده صادقی برای دریافت درجه دکترای تخصصی رشته پروتز های دندان تحت عنوان « بررسی خواص مکانیکی نانو کامپوزیت سلیکا ایروزل / پلی متیل متاکریلات به عنوان ماده اولیه در ساخت اوردنچر » در دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی به تاریخ ۹۹/۰۹/۱۹ برگزار گردید. هیات داوران که قبلاً پایان نامه ایشان را مطالعه نموده اند، پس از شنیدن دفاعیات و پرسشهای لازم از ایشان نتیجه را به شرح زیر اعلام می کنند. پایان نامه در وضعیت فعلی مورد قبول است و نامبرده نمره ۱۸/۷۹ با امتیاز بسیار خوب را دریافت نموده است.

امضاء	هیات داوران
دکتر سینا صفری	استاد راهنما
دکتر فاطمه السادات سجادی	سرپرست تخصصی دانشکده
دکتر مریم السادات هاشمی یور	معاون آموزشی
دکتر ملوک ترابی	معاون پژوهشی
	استاد مدعو :
	دکتر پرویز امینی
	دکتر سمیرا صوفی آبادی
	دکتر ایمان محمد زاده
	دکتر زینب سعیدی
	دکتر شهرزاد طاهری

مراتب فوق مورد تایید است.

دکتر علی اسکندری زاده

رئیس دانشکده دندانپزشکی

